

**PERANCANGAN ROBOTINO®
SEBAGAI STORAGE AND RETRIEVAL MACHINE :
PADA SIMULASI AUTOMATED STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEM
DI KEPROFESIAN OTOMASI FAKULTAS REKAYASA INDUSTRI
UNIVERSITAS TELKOM**

Satya Wicaksana Mukhlisin¹, Haris Rachmat, S.T., M.T.², Dr. Ir. Tatang Mulyana, M.T.³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom

¹satyaenong@gmail.com, ²haris.bdg23@gmail.com, ³tatang21april@gmail.com

ABSTRAK

Pengetahuan AS/RS dan S/R *machine* merupakan hal yang penting bagi mahasiswa Teknik Industri agar pada saat terjun di dunia pergudangan dan dapat mengaplikasikannya untuk melakukan *improvement* di aktivitas pergudangan perusahaan. Sebelumnya, pada keprofesian otomasi Universitas Telkom belum pernah ada penelitian mengenai perancangan simulasi AS/RS dan Robotino®. Dari penelitian ini, diharapkan tercipta simulasi AS/RS yang dapat meningkatkan pengetahuan mahasiswa keprofesian otomasi di bidang otomatisasi sistem penyimpanan dan pengambilan *item* di pergudangan. Dari simulasi proses penyimpanan, terdapat sembilan proses utama yang dirancang. Terdapat tiga kebutuhan dasar dalam merancang Robotino® sebagai S/R *machine* yaitu sistem rancangan, *software* dan *hardware*. Untuk kebutuhan *software* adalah sistem operasi Windows 8 dan Robotino®View. Untuk kebutuhan *hardware* terdiri dari enam komponen yaitu komputer, Robotino®, *webcam*, sensor induktif, baterai, dan *gripper system*. Sedangkan untuk pendukung skenarionya dibutuhkan empat komponen yaitu struktur akrilik, *sensor trigger*, solasi aluminium, dan *item*. Waktu untuk menyelesaikan sembilan proses utama adalah 647,1 detik. Proses yang paling lama adalah proses utama 6 selama 83,3 detik. NPV biaya kumulatif yang lebih kecil adalah alternatif kedua yaitu sebesar Rp16.657.138. Terdapat tujuh faktor yang teridentifikasi menghambat Robotino® dalam bertindak sebagai S/R *Machines* yaitu pencahayaan, koneksi, baterai, jalur lintasan, *gripper system*, bahan pembuat *slider*, *workstation*, dan rak, serta umur mesin.

Kata kunci: AS/RS, proses penyimpanan, S/R *machine*, Robotino®, Robotino®View, NPV biaya kumulatif

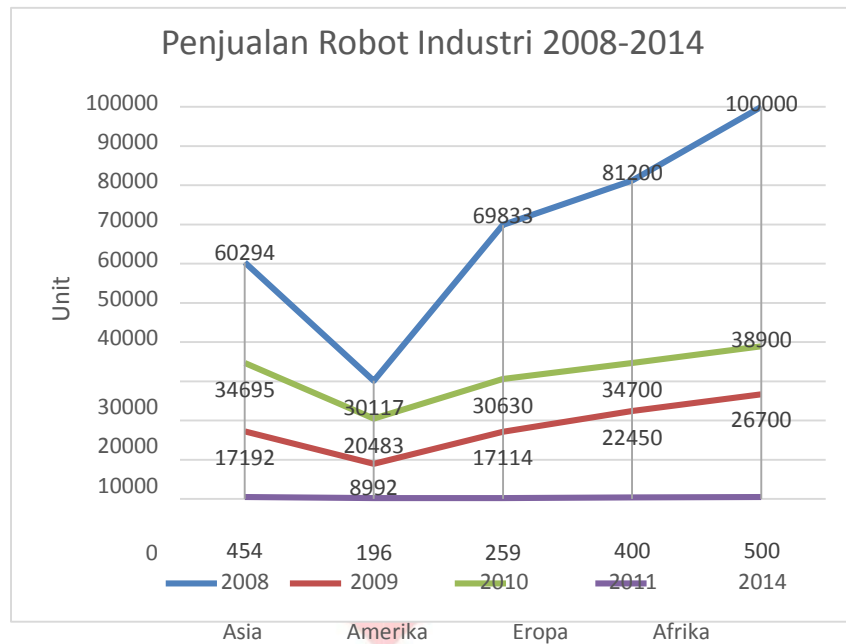
ABSTRACT

AS/RS and S/R machine knowledge are the important things for industrial engineering students to solve warehousing problem and make improvement in warehousing activity. There is no research about AS/RS and Robotino® in automation group of Telkom University before. The expectation from this research is, there will be an AS/RS simulation so that the students will be able to gain knowledge about item storage and retrieval system. Generally, storage process consists of nine main processes. There are three main requirements in designing Robotino® as S/R machine; system requirement, software requirements, and hardware requirements. For software requirements are Windows operation system and Robotino®View to communicating computer and Robotino®. Then for hardware requirements are computer, Robotino®, webcam, inductive sensor, battery, and gripper system. For other requirements for supporting the scenario are acrylic structure, sensor trigger, aluminium tape, and item. Time to finish nine main process is 647.1 seconds. The longest time is process 6 which is 83.3 seconds. The least NPV of cumulative cost is the second alternative which is Rp16.657.138. there are seven main factors from internal and external of Robotino® which interfere the simulation; exposure, connection, battery, lanes, gripper system, material for slider, workstation, and rack, and engine life.

Keywords: AS/RS, storage process, S/R machine, Robotino®, Robotino®View, NPV of cumulative cost

1. PENDAHULUAN

Saat ini terdapat sebuah sistem yang memanfaatkan teknologi otomasi untuk membantu aktivitas pergudangan, sistem tersebut adalah *automated storage and retrieval system* (AS/RS). AS/RS adalah sistem penyimpanan yang menjalankan operasi penyimpanan dan pengambilan *item* dengan kecepatan dan akurasi yang telah ditetapkan oleh derajat otomasi (Groover, 2001). Dalam penggunaannya, AS/RS memiliki banyak manfaat dan kelebihan dibanding sistem yang tidak terotomatisasi (Roodbergen & Iris, 2008). Penggunaan AS/RS juga dapat menghemat biaya pekerja dan luas gudang, meningkatkan reliabilitas dan mengurangi *error state* dalam aktivitas pergudangan (Zollinger, 1999). Dalam pengoperasiannya, salah satu komponen penyusun AS/RS adalah *material handling* atau pemindah barang. Banyak alternatif yang dapat digunakan sebagai AS/RS, salah satunya adalah S/R *machine* menggunakan robot industri. Saat ini pemakaian robot dalam kegiatan industri semakin meningkat dibuktikan oleh grafik pada Gambar 1.1.

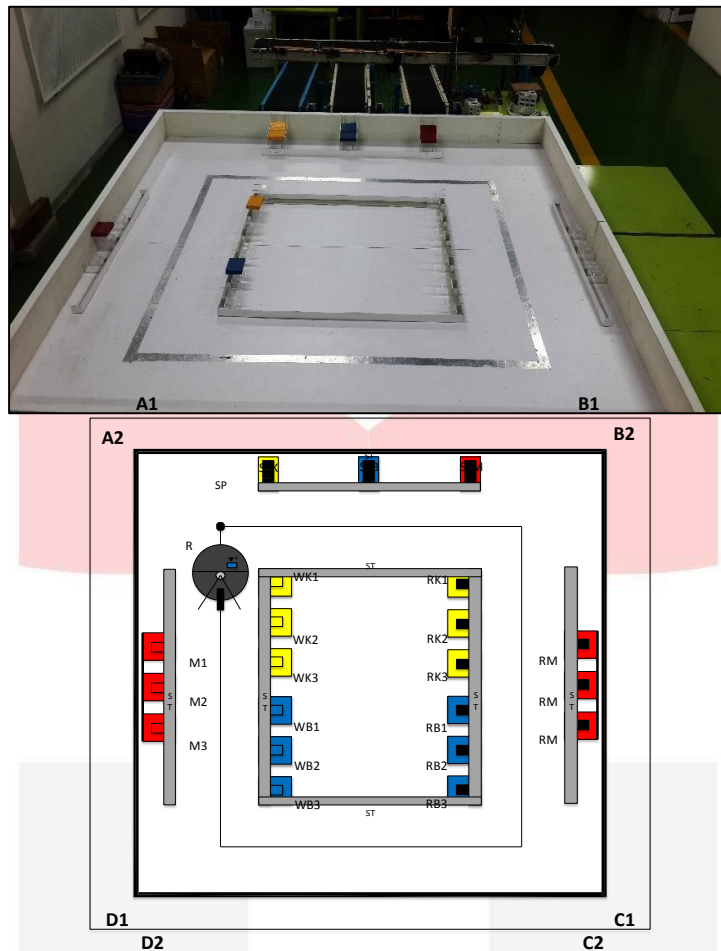


Gambar 1.1 Penjualan Robot Industri Tahun 2008 sampai 2014 (Struijk, 2012)

Gambar 1.1. menunjukkan grafik penjualan robot di berbagai empat wilayah. Semua wilayah mengalami peningkatan dalam penjualan robot industri dan Asia merupakan wilayah dengan tingkat penjualan tertinggi. Adanya peningkatan dalam penggunaan robot sebagai *S/R machine* adalah karena robot memiliki daya tahan, konsistensi, dan akurasi yang lebih besar dibanding manusia. Pengetahuan AS/RS dan *S/R machine* merupakan hal yang penting bagi mahasiswa, khususnya mahasiswa Teknik Industri agar pada saat terjun di dunia perdagangan dan mahasiswa tersebut dapat mengaplikasikannya untuk melakukan *improvement* di aktivitas perdagangan perusahaan. Salah satu keprofesian di bawah program studi Teknik Industri Universitas Telkom yang mempelajari otomatisasi kegiatan industri adalah keprofesian otomasi. Untuk menunjang kegiatan pembelajaran, keprofesian ini mempunyai beberapa *tools* salah satunya adalah Robotino®. Robotino® merupakan robot yang diproduksi oleh Festo yang dikembangkan untuk tujuan edukasi, penelitian dan kompetisi (Festo, 2014). Sebelumnya, pada keprofesian ini belum pernah ada penelitian mengenai perancangan simulasi AS/RS dan Robotino®. Kemudian berdasarkan Festo, Robotino® dapat dirancang untuk kebutuhan penelitian dan edukasi. Oleh karena itu, penelitian ini membahas tentang perancangan Robotino® sebagai *S/R machine* dan mensimulasikannya dalam sebuah simulasi AS/RS. Dari integrasi penelitian ini, diharapkan tercipta simulasi AS/RS yang dapat meningkatkan pengetahuan mahasiswa keprofesian otomasi di bidang otomatisasi sistem penyimpanan dan pengambilan *item* di perdagangan.

2. PERANCANGAN SISTEM

Proses penyimpanan adalah proses terakhir yang dijalankan setelah proses pensortiran *item* dan proses pemindahan *item* ke *workstation* telah selesai dijalankan. Proses penyimpanan dimulai pada saat semua *item* telah berada di *workstation* masing-masing. Tugas utama dari proses penyimpanan ini adalah untuk membawa *item* yang ada di *workstation* ke tempat penyimpanan atau rak sesuai dengan warnanya masing-masing. Gambar di atas menunjukkan rancangan arena pada skenario AS/RS. Skenario ini berawal dari proses sortir *item* sampai penyimpanan *item*. Kemudian gambar di atas terdiri dari beberapa kode yang diterangkan pada Tabel 2.1. Secara garis besar, urutan proses dari proses penyimpanan disusun menjadi sembilan proses utama. Perbedaan yang mendasari setiap proses adalah letak *workstation* untuk pengambilan *item* dan letak rak untuk penyimpanan *item*. Untuk jenis kegiatan yang pada setiap proses utama tidak berbeda, hal ini dikarenakan Robotino® menggunakan jalur yang sama dan pada penelitian ini menggunakan jenis *workstation* dan rak yang sama sehingga Robotino® hanya perlu menjalankan satu jenis kegiatan untuk setiap pengambilan dan penyimpanan. Kemudian jumlah sensor jarak yang digunakan untuk setiap proses utama adalah sama yaitu sebanyak lima buah, yaitu IR1, IR2, IR3, IR8, dan IR9. Untuk IR1, IR3, dan IR8 digunakan untuk melakukan gerakan maju, mundur, dan memutar. Kemudian IR2 dan IR9 digunakan untuk melakukan *balancing* pada saat Robotino® bergerak. Tidak semua sensor digunakan pada proses yang dirancang. Ini disebabkan karena semakin banyak sensor yang digunakan maka akan semakin rumit pemrogramannya juga dengan jumlah sensor yang digunakan, proses sudah bisa dijalankan sehingga tidak semua sensor harus digunakan.



Gambar 2.1 Perancangan Arena dan Skenario *Storage System*

Tabel 2.1 Keterangan Lambang

Kode	Pengertian
SP	Start Point
R	Robotino®
A1	Sudut Kiri Atas untuk Berputar CW
A2	Sudut Kiri Atas untuk Berputar CCW
B1	Sudut Kanan Atas untuk Berputar CCW
B2	Sudut Kanan Atas untuk Berputar CW
C1	Sudut Kanan Bawah untuk Berputar CCW
C2	Sudut Kanan Bawah untuk Berputar CW
D1	Sudut Kiri Bawah untuk Berputar CW
D2	Sudut Kiri Bawah untuk Berputar CCW
ST	Sensor Trigger
WM1/2/3	Workstation Merah 1/2/3
WB1/2/3	Workstation Biru 1/2/3
WK1/2/3	Workstation Kuning 1/2/3
RM1/2/3	Rak Merah 1/2/3
RB1/2/3	Rak Biru 1/2/3
RK1/2/3	Rak Kuning 1/2/3

Agar sistem perdana tersebut dapat diimplementasikan dengan sempurna, sistem tersebut akan dirancang dengan memperhatikan beberapa parameter sebagai berikut:

1. Rak penyimpanan yang akan dirancang adalah rak sebanyak tiga buah dengan setiap rak memiliki tiga *bay*. Rancangan tersebut dibuat berdasarkan pertimbangan jumlah *item* yang akan disimpan pada saat mendemonstrasikan sistem tersebut.
2. Sistem penyimpanan yang diterapkan adalah setiap *pigeon hole* terdiri dari satu *item*, dan urutan penyimpanannya adalah diisi yang paling dekat dengan posisi awal robot terlebih dahulu.
3. Jalur lintasan terbuat dari solasi aluminium yang dapat dibaca oleh sensor induktif pada Robotino®.

Sistem baru yang akan dirancang ini membutuhkan perangkat lunak (*software*) untuk mengendalikan Robotino® sebagai S/R *machine* dalam melakukan proses penyimpanan *item* ke dalam rak. *Software* yang diperlukan adalah sebagai berikut:

1. Sistem operasi Windows 8, *software* ini diperlukan untuk menjalankan operasi yang ada di komputer secara keseluruhan.
2. Robotino® View, *software* ini digunakan sebagai jembatan komunikasi antara komputer dengan S/R *machine* yang terbuat dari Robotino®.

Perancangan Robotino® sebagai S/R *machine* ini juga membutuhkan perangkat keras (*hardware*) sebagai komponen fisik pembentuk S/R *machine*. Berikut ini merupakan sembilan *hardware* yang diperlukan untuk membangun S/R *machine*:

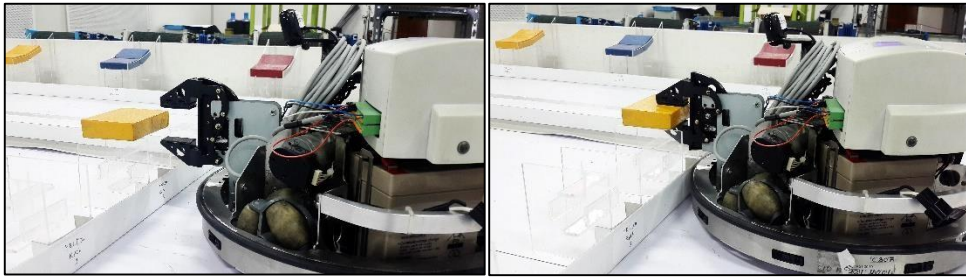
1. **Komputer**, digunakan untuk membuat rangkaian program *storage system* melalui *software* Robotino® View.
2. **Robotino®**, adalah robot yang digunakan untuk menjalankan program *storage system*. Robot ini dilengkapi dengan satu buah sensor *anti-collision*, sembilan buah sensor *proximity*, satu buah sensor induktif, dua buah sensor optik, dan satu buah *webcam* Logitech.
3. **Webcam**, merupakan bagian dari Robotino® yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan *item* dan mengidentifikasi warna dari *item* yang akan dibawa.
4. **Sensor Induktif**, merupakan bagian dari Robotino® yang digunakan untuk membaca solasi aluminium sebagai jalur bagi Robotino® untuk berjalan.
5. **Power supply / baterai kering**, merupakan sumber energi yang dibutuhkan oleh Robotino® agar dapat berfungsi.
6. **Gripper system**, adalah sistem perangkat keras yang berfungsi mengambil dan meletakkan *item* sesuai program yang dibuat. Sistem ini terbagi menjadi dua bagian besar:
 - a. **Gripper**, merupakan pencapit yang dipasang pada Robotino® untuk membawa *item* dan menyimpan *item* dari satu tempat ke tempat yang lain.
 - b. **Servo**, merupakan motor DC yang digunakan untuk menggerakkan *gripper*. Servo tersebut dikendalikan oleh sebuah sistem pengendali yang dinamakan *servo driver*.
 - c. **Servo driver**, merupakan sistem pengendali yang dihubungkan dengan I/O *port* pada Robotino®. *Hardware* ini memberikan perintah kepada servo untuk menggerakkan *gripper*.
 - d. **Struktur**, merupakan plat logam yang dipasangkan pada Robotino® yang berfungsi sebagai tempat penyangga *gripper*, servo, dan *servo driver*.

Selanjutnya untuk mendukung skenario proses penyimpanan, terdapat empat kebutuhan perangkat keras yang dijelaskan sebagai berikut:

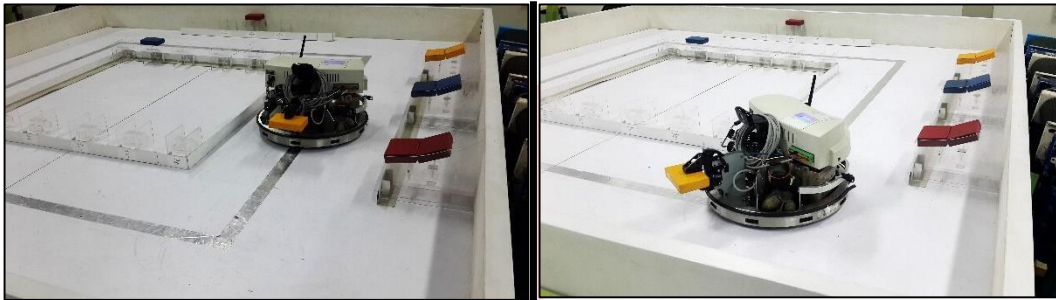
1. **Struktur akrilik**, merupakan plat akrilik yang didesain untuk menjadi model *workstation* dan rak.
2. **Sensor trigger**, merupakan benda yang berfungsi sebagai pemicu sensor jarak yang ada pada Robotino® untuk membaca jarak benda yang ada di sekeliling Robotino®.
3. **Solasi aluminium**, digunakan untuk membuat lintasan pada arena. Jalur ini akan dibaca oleh sensor induktif pada Robotino®. Tujuan dari penggunaan solasi ini adalah agar robot bergerak presisi sesuai dengan lintasan sehingga dapat terhindar dari salah arah atau tabrakan.
4. **Item**, merupakan balok yang terdiri dari tiga warna yaitu merah, biru dan kuning yang diasumsikan sebagai *item* yang akan dibawa dan disimpan oleh Robotino®.



Gambar 2.2 Robotino® setelah Pemasangan Gripper System



Gambar 2.3 Proses Pengambilan Item



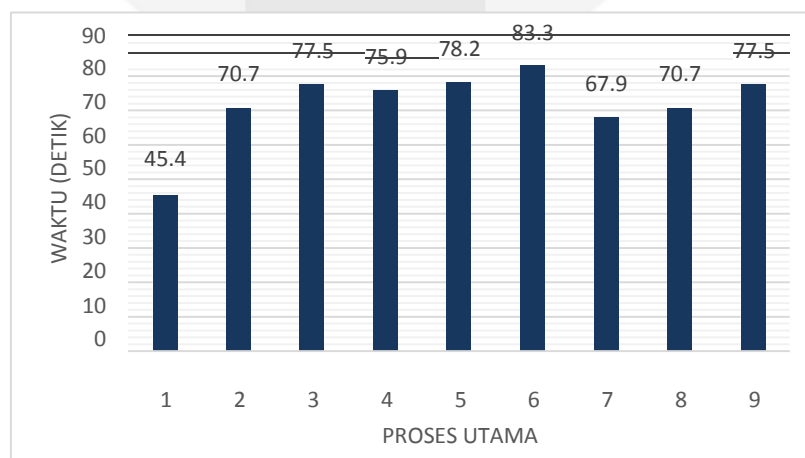
Gambar 2.4 Robotino® Membawa Item Menuju Rak

3. ANALISIS

Berikut merupakan rekapan keseluruhan dari waktu untuk setiap proses utama yang ditunjukkan oleh Tabel 3.1. Berdasarkan perhitungan di atas disimpulkan bahwa waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan sembilan proses utama adalah selama 647,1 detik. Kemudian berikut merupakan grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 3.1 mengenai waktu yang telah direkap untuk setiap proses.

Tabel 3.1 Rekapan Waktu

Proses Utama	Waktu (detik)
1	45,4
2	70,7
3	77,5
4	75,9
5	78,2
6	83,3
7	67,9
8	70,7
9	77,5
Total	647,1



Gambar 3.1 Grafik Rekap Nilai

Berdasarkan grafik pada Gambar 3.1, disimpulkan bahwa proses yang paling lama adalah proses utama 6 yaitu selama 83,3 detik. Ini disebabkan karena proses utama ini menempuh jarak terjauh sehingga membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan proses utama yang lain. Karena ini merupakan simulasi, maka terdapat enam asumsi yang ditetapkan untuk membatasi simulasi yang telah dibuat. Kemudian berikut ini merupakan data yang dipakai pada simulasi ini untuk dijadikan sebagai acuan atau asumsi:

1. Analisis finansial ini menggunakan metode NPV (*Net Present Value*)
2. Komponen yang dihitung pada simulasi ini adalah hanya biaya investasi / instalasi awal dan biaya operasional
3. Baik alternatif pertama maupun kedua mempunyai kapasitas produksi yang sama
4. Semua operator pada kedua operator mempunyai upah yang standar yaitu mengacu pada UMR (Upah Minimum Regional)
5. Setiap hari terdapat 50 pengulangan dalam proses penyimpanan
6. Pada alternatif kedua, biaya instalasi hanya biaya pemasangan *gripper system* (diasumsikan pada periode awal sudah memiliki Robotino®)

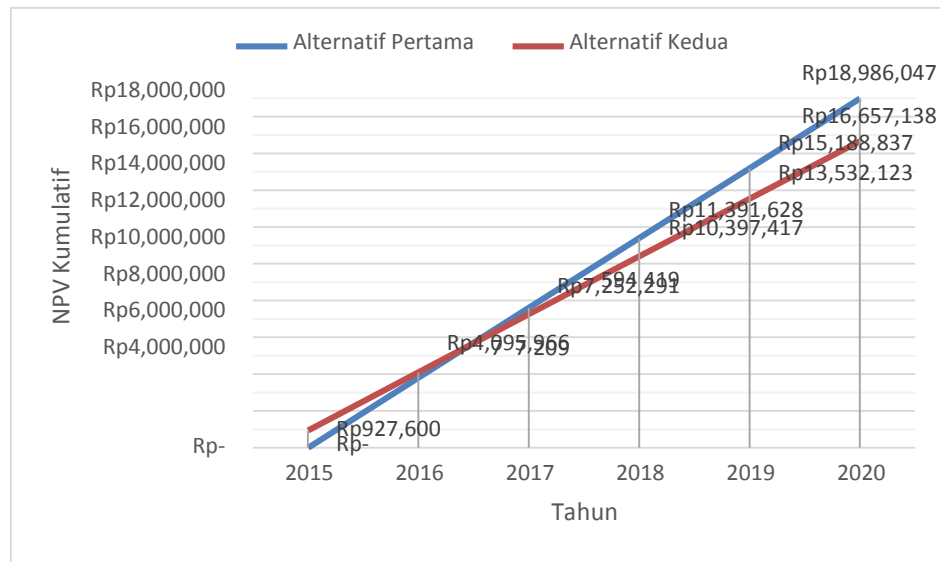
Tabel 3.2 Data Simulasi Finansial

Data Finansial		
Data	Nilai	Sumber / Keterangan
UMR Kabupaten Bandung	Rp 2.041.000,00 / bulan	Keputusan Gubernur Jawa Barat No. 561/Kep. 1581-Bangsos/2014
Suku Bunga Bank	7.50%	www.bi.go.id
Rencana Evaluasi	5 Tahun	Tahun 2016-2020
Depresiasi Hardware	5 Tahun	Straight Line Depreciation
Biaya Listrik	Rp 1.200,65 / kWh	Tariff Adjustment PLN Juni 2015 untuk Golongan I-3/TM
Pemakaian Daya Charger Robotino®	56 Watt / detik	Keterangan pada charger
Jumlah Hari Kerja per Tahun	308 hari	360 Hari - 52 Minggu
Biaya Maintenance Robotino®	Rp 1.000.000,00 / tahun	Biaya membersihkan Robotino, perbaikan dan penggantian baterai

Setelah dilakukan perhitungan finansial (perhitungan selengkapnya terdapat pada Lampiran K), diperoleh hasil NPV Biaya Kumulatif untuk kedua alternatif yang ditunjukkan pada Tabel V.13. Kemudian dari hasil perhitungan tersebut dibuat grafik NPV biaya kumulatif untuk kedua alternatif yang ditunjukkan pada Gambar V.12. Berdasarkan grafik di atas, berdasarkan hasil perhitungan simulasi finansial dengan mengacu pada asumsi yang telah ditetapkan, maka NPV biaya kumulatif yang lebih kecil adalah alternatif kedua yaitu sebesar Rp16.657.138. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa alternatif kedua lebih layak untuk dioperasikan yaitu dengan menggunakan satu operator dan satu buah Robotino®.

Tabel 3.3 Hasil Perhitungan NPV Biaya Kumulatif

Tahun	NPV Biaya Kumulatif	
	Alternatif Pertama	Alternatif Kedua
2015	Rp -	Rp 927,600
2016	Rp 3,797,209	Rp 4,095,966
2017	Rp 7,594,419	Rp 7,252,291
2018	Rp 11,391,628	Rp 10,397,417
2019	Rp 15,188,837	Rp 13,532,123
2020	Rp 18,986,047	Rp 16,657,138



Gambar 3.2 Grafik NPV Biaya Kumulatif

4. ANALISIS HAMBATAN PERFORMANSI ROBOTINO® SEBAGAI S/R MACHINE

Berdasarkan hasil pengujian, terdapat tujuh faktor yang menjadi hambatan bagi Robotino® untuk bertindak sebagai S/R machine yaitu sebagai berikut:

1. **Pencahayaayan**, merupakan faktor yang mempengaruhi kinerja *webcam* dalam mengolah warna objek yang akan diambil. Pada saat pencahayaayan berubah, maka nilai HSV (*Hue*, *Saturation*, dan *Value*) yang terbaca pun akan berubah sehingga membuat *webcam* menjadi tidak dapat membaca keberadaan dan warna *item*. Solusi untuk hambatan ini adalah menjaga tingkat pencahayaayan pada arena dengan cara menerangi arena dengan lampu. Solusi lainnya adalah dengan melakukan percobaan pada waktu yang sama pada saat pengambilan nilai HSV pada *item*.
2. **Koneksi**, pada saat Robotino® terhubung dengan komputer melalui *wifi*, sering adanya gangguan atau interferensi yang disebut *wifi noise*. Setiap komputer pun memiliki *noise* yang berbeda, tergantung dari performansinya. Gangguan ini merupakan sesuatu yang tidak dapat dihindarkan namun dapat diminimalisasi dengan cara memilih komputer dengan spesifikasi yang memadai dengan kualitas pemancar *wifi* yang baik sehingga *noise* yang diterima dapat diminimalisasi.
3. **Baterai**, merupakan faktor yang menjadi hambatan daya tahan Robotino® dalam menjalankan program dari komputer. Apabila Robotino® menggunakan baterai yang kurang baik, maka Robotino® sulit untuk menuntaskan program (biasanya sudah habis daya sebelum program berakhir) dan waktu pengisian lebih lama dibanding dengan waktu nyalanya Robotino® itu sendiri. Pada penelitian ini, baterai yang digunakan merupakan baterai dengan kondisi yang kurang baik. Ini ditandai dengan lama pengisian daya yang lebih lama ketimbang waktu pemakaiannya (rata-rata lama pengisian daya pada baterai ini adalah 1,4 jam sedangkan lama pemakaiannya adalah 1,2 jam). Solusi dari hambatan ini adalah dengan mengganti baterai dengan baterai dengan kondisi yang lebih baik.
4. **Jalur lintasan**, penelitian ini menggunakan solasi alumunium sebagai lajur lintasan bagi Robotino®. Karena itu, Robotino® menggunakan sensor induktif untuk membaca lintasan yang terbuat dari solasi alumunium tersebut. Masalah adalah sensor induktif tidak dapat membaca persimpangan. Benda tersebut hanya menampilkan output ada dan tidak saja (tidak analog) sehingga terkadang Robotino® harus melenceng dahulu baru setelah itu mencari dengan bantuan program. Solusinya adalah dengan menyesuaikan posisi Robotino® dengan baik dan benar pada saat di *start point*, menggunakan bantuan sensor jarak untuk *balancing*, dan membuat program pencarian jalur pada saat sensor induktif kehilangan jalur.
5. **Gripper system**, merupakan komponen yang sangat penting bagi Robotino® untuk dapat beroperasi sebagai S/R machine. Namun terdapat hambatan yang teridentifikasi pada komponen ini. Hambatan pertama adalah *grip* yang terbuat dari bahan pelastik sehingga *item* tidak dapat digenggam erat karena permukaan yang licin. Solusi untuk hambatan tersebut adalah dengan cara menambahkan bahan yang kasar di permukaan *grip*. Kemudian hambatan lainnya adalah posisi *gripper* yang tidak sesuai dengan jarak baca sensor 1 sehingga pada saat aktivitas mengambil atau melepas, *gripper* tidak dapat berfungsi dengan baik dan membuat *item* terjatuh. Solusi untuk masalah tersebut adalah dengan menggunakan *timer* pada saat maju sebelum mengambil atau melepaskan *item* sehingga mendapatkan jarak yang sesuai dengan keinginan.
6. **Bahan pembuat slider, workstation, dan rak**. Pada penelitian ini, *slider*, *workstation*, dan rak terbuat dari bahan akrilik. Bahan ini mirip seperti kaca. Sensor jarak yang dimiliki oleh Robotino® adalah sensor *beam* yang mengeluarkan *infrared* untuk membaca jarak benda dengan Robotino®. Ketika *infrared* tersebut mengenai bahan akrilik, maka *infrared* tersebut akan dipantulkan oleh akrilik sehingga nilai yang dihasilkan dapat berbeda-beda tergantung pantulan yang dihasilkan. Solusi dari masalah ini adalah

dengan mendesain ulang *slider*, *workstation*, dan rak dengan menempelkan bagian yang terkena *infrared* sensor dengan bahan yang tidak memantulkan cahaya (contohnya karton atau dupleks) sehingga sensor dapat membaca keberadaan benda dengan lebih jelas.

7. **Umur mesin**, merupakan faktor yang berasal dari Robotino® yang juga mempengaruhi kinerja Robotino® sebagai S/R *machine*. Faktor ini mempengaruhi beberapa komponen pada Robotino® diantaranya adalah *omnidirectional drive* dan *wireless LAN access point*. *Omnidirectional drive* akan kotor dan mengalami kausan jika sudah lama digunakan sehingga mengganggu gerakan Robotino®. Solusi dari hambatan tersebut adalah dengan melakukan perawatan secara rutin terhadap Robotino® contohnya dengan membersihkan roda Robotino® dari debu dan kotoran atau dengan cara membersihkan arena tempat Robotino® bergerak. Hambatan lainnya adalah pada saat mesin telah lama digunakan, *wireless LAN access point* sering terputus koneksinya dengan komputer sehingga program menjadi terhenti. Solusi dari masalah tersebut adalah dengan memperbaiki *wireless LAN access point* sehingga memperbaiki kemampuan koneksi dengan komputer.

5. KESIMPULAN

Dari hasil analisis yang telah dilakukan, didapat kesimpulan yang menjawab tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Dari simulasi proses penyimpanan yang dirancang, terdapat sembilan proses utama yang dibedakan berdasarkan lokasi *workstation* tempat pengambilan *item* dan lokasi rak tempat penyimpanan *item*. Lalu terdapat lima sensor jarak yang digunakan yaitu IR1, IR2, IR3, IR8, dan IR9. Kemudian terdapat tiga kebutuhan dasar dalam merancang Robotino® sebagai S/R *machine* yaitu kebutuhan sistem rancangan, kebutuhan *software* dan kebutuhan *hardware*. Untuk kebutuhan *software* adalah sistem operasi Windows 8 dan Robotino®View sebagai jembatan komunikasi antara komputer dengan Robotino®. Lalu untuk kebutuhan *hardware* terdiri dari enam komponen yaitu komputer, Robotino®, *webcam*, sensor induktif, baterai, dan *gripper system*. Sedangkan untuk pendukung skenarionya dibutuhkan empat komponen yaitu struktur akrilik, *sensor trigger*, solasi alumunium, dan *item*.
2. Pengujian dilakukan per *step* pada Robotino®View dengan memperhatikan hasil yang diharapkan dan parameter kuantitatif untuk setiap jenis kegiatan pada proses utama. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan hasil bahwa keseluruhan proses berhasil dengan total waktu selama 647,1 detik.
3. Berdasarkan pengujian terhadap setiap pengujian, maka dapat disimpulkan bahwa proses yang paling lama adalah proses utama 6 yaitu selama 83,3 detik. Ini disebabkan karena proses utama ini menempuh jarak terjauh sehingga membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan proses utama yang lain.
4. Berdasarkan hasil perhitungan simulasi finansial dengan mengacu pada asumsi yang telah ditetapkan, maka NPV biaya kumulatif yang lebih kecil adalah alternatif kedua yaitu sebesar Rp16.657.138. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa alternatif kedua lebih layak untuk dioperasikan yaitu dengan menggunakan satu operator dan satu buah Robotino®.
5. Berdasarkan hasil pengujian, terdapat tujuh faktor yang teridentifikasi menghambat Robotino® dalam bertindak sebagai S/R *machine*. Faktor yang menjadi hambatan tersebut adalah pencahayaan, koneksi, baterai, jalur lintasan, *gripper system*, bahan pembuat *slider*, *workstation*, dan rak, serta umur mesin.

DAFTAR PUSTAKA:

- Eberhard, P., & Tang, Q. (2013). Sensor Data Fusion for the Localization and Position Control of One Kind of Omnidirectional Mobile Robots.
- Festo. (2014, 12). Diambil kembali dari www.festo-didactic.com.
- Festo. (2014). *Festo Didactic - Robotino*. Dipetik Desember 21, 2014, dari <http://www.festo-didactic.com/>
- Frazelle, E. H. (2002). *World-Class Warehousing and Material Handling*. Singapore: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Groover, M. P. (2001). *Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacture - Second Edition*. John Wiley & Sons.
- Groover, M. P. (2005). *Otomasi, Sistem Produksi, dan Computer Integrated Manufacturing*. Surabaya: Guna Widya.
- Groover, M. P. (2010). *Fundamentals of Modern Manufacturing - Fourth Edition*. Wiley & Sons.
- Rai, I. D. (2014). Rancang Bangun Robot Electronic Nose untuk Mengidentifikasi Gas menggunakan Multi Layer Perceptron.
- Roodbergen, K., & Iris, F. (2008). A Survey of Literature on Automated Storage and Retrieval Systems. *Science Direct*, 1.
- Struijk, B. (2012). Robot Production Volume Data Trends and Analysis.
- Weber, R., & Bellenberg, M. (2010). *Robotino Manual*. Dipetik Desember 22, 2014, dari www.festo-didactic.com
- Weber, R.-C., & Bellenberg, M. (2010). *Robotino Manual*.
- Zollinger, H. (1999). AS/RS Application, Benefits and Justification in Comparison to Other Storage Methods: A White Paper. Automated Storage Retrieval Systems Production Section of the Material Handling Industry of America. *Science Direct*.